

УДК 681.5.015.24

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ РУХУ ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ЗА ДОПОМОГОЮ КРИТЕРІЮ МИХАЙЛОВА

**А.О. ХАРЧЕНКО<sup>1\*</sup>, О.Ю. ЗАКОВОРОТНИЙ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> магістрант кафедри ОТП, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

<sup>2</sup> вчений секретар НТУ «ХПІ», канд. техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

\*email: kharchenko.artiom@gmail.com

Досить актуальною проблемою в задачах створення систем автоматичного керування є визначення характеру поведінки динамічних систем при зміні окремих аргументів. Використання таких систем на транспорті дозволяє регулювати окремі показники руху: температура, тиск, швидкість [1]. Основною метою даної роботи є оцінка стійкості руху залізничного рухомого складу за допомогою критерію Михайлова, для подальшого визначення оптимальної швидкості.

Оцінка стійкості руху в нашому випадку базується на дослідженні бокових коливань. Наведемо систему диференціальних рівнянь, що містять рівняння бокового відхилення та виляння у загальному вигляді:

$$\begin{cases} a \frac{d^2 y}{dt^2} + b \frac{dy}{dt} + cy + kx = 0, \\ e \frac{d^2 x}{dt^2} + f \frac{dx}{dt} + qx + hy = 0, \end{cases}$$

де  $a, b, c, k, e, f, g, h$  – технічні параметри рухомого складу. В якості збурення використовується функція  $y(t)$ , що позначає зміщення колісної пари на нерівностях та кривих. Зазначимо, що дана система описує рівномірний рух ( $v = \text{const}$ ). Для режимів розгону та гальмування необхідно виконати заміну:

$$\begin{aligned} b &= b^* v(t); \\ f &= f^* v(t), \end{aligned}$$

де  $v(t)$  – швидкість руху.

Характеристичне рівняння даної системи матиме наступний вигляд:

$$aep^4 + (af + be)p^3 + (ag + bf + ce)p^2 + (bg + cf)p + cg - dh = 0.$$

Система автоматичного управління буде стійкою, якщо бокові коливання, викликані нерівностями в системі «колесо-рейка», будуть затухаючими. Для

виконання даної умови необхідно, щоб дійсна частина коренів характеристичного рівняння була від'ємною.

Критерій Михайлова є частотним критерієм стійкості. Основною його перевагою є оцінка стійкості системи без розрахованих значень коренів характеристичного рівняння та можливість використання для систем високих порядків [2].

Оцінку стійкості проводимо за допомогою годографа Михайлова: для цього виконаємо заміну в характеристичному рівнянні  $p \rightarrow j\omega$ . Отримаємо:

$$F(j\omega) = ae(j\omega)^4 + (af + be)(j\omega)^3 + (ag + bf + ce)(j\omega)^2 + (bg + cf)(j\omega) + cg - dh.$$

Годограф Михайлова для оцінки стійкості залізничного рухомого складу при швидкості 25 м/с наведено на рис.

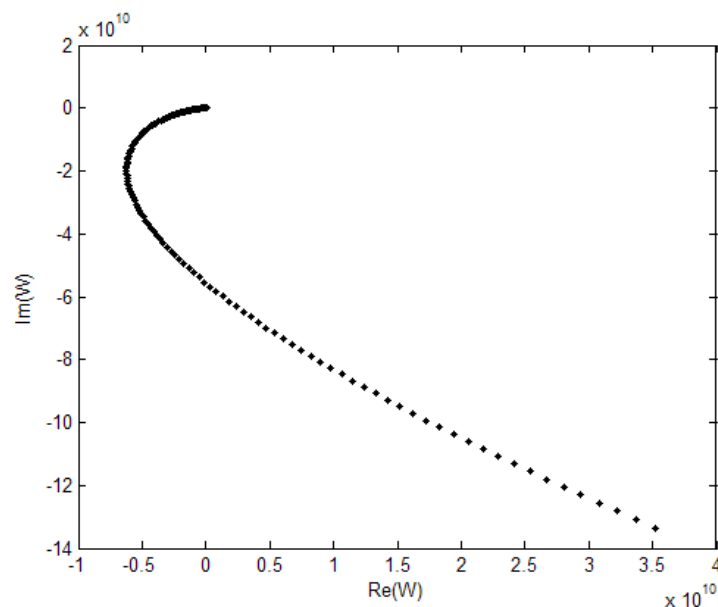


Рис. 1– Годограф Михайлова для швидкості 25 м/с

В нашому випадку для стійкості руху необхідно та достатньо, щоб годограф Михайлова при частотах  $\omega = (0; \infty)$  обійшов послідовно  $n$  квадрантів комплексної площини, не перетинаючи початок координат. При цьому початок годографа повинен бути на позитивній дійсній осі. Для даної задачі  $n = 4$  (порядок поліному). Виходячи з побудованого годографа можемо зробити висновок про стійкість даної системи. За допомогою критерію Михайлова можемо оцінити запас стійкості – 2,1 м/с.

#### **Список літератури:**

1. Дмитриенко В.Д. Моделирование и оптимизация процессов управления движением дизель-поездов / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный. – Х.: Изд. центр «НТМТ», 2013. – 248 с.
2. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.